

VÁLASZ OPPONENSI VÉLEMÉNYRE

OPPONENS:

Winkler András, az MTA doktora

DOKTORI DOLGOZAT CÍME:

Sztochasztikus és determinisztikus modellek faalapú kompozitok fejlesztésére

SZERZŐ:

Láng Elemér Márton (2011)

Tisztelt Winkler Professzor Úr!

Köszönettel vettem opponensi véleményét, amelyben úgy érzem, hogy érdemeimen felül nyilatkozik munkámról. Külön megtiszteltetés számomra, hogy a faalapú kompozitok terén nemzetközi elismertséggel rendelkező szakembertől kaptam pozitív véleményt. A továbbiakban a bírálatban megfogalmazott megjegyzésekre és kérdésekre adom meg a választ azok előfordulási sorrendjét követve.

Dolgozatom formai kialakítását jónak tartva bírálóm azonban megjegyzi, hogy a mellékletek zsúfoltsága miatt azok nehezen azonosíthatók. A mintegy húsz oldalas függelék kialakításánál az az elv vezérelt, hogy az általam vélt, lehető legfontosabb matematikai összefüggéseket, ábrákat és a nélkülözhetetlen, ám szelektált adatokat tömören összefoglaljam. Mindez valóban némi zsúfoltságot eredményezett. Ugyanakkor, ha szűken is, de sikerült a munka terjedelmét elfogadható korlátok közé szorítani.

Sajnálatos, hogy helyenként elírások és tipográfiai hibák tarkítják a dolgot. Természetesen gondosabb és alaposabb ismételt átolvasással ezek száma csökkenthető lett volna. Néhány esetben a PDF formátumra történő konvertálás során főleg a szimbólumként használt görög karakterek okoztak jelentős problémát.

Az első fejezetről bírálóm kijelenti, hogy nem tekinthető érdeminek; amely megállapítással jómagam tökéletesen egyetértek. Eredetileg az Akadémia, Műszaki Tudományos Osztálya, Anyagtudományi és Technológiai Tudományos Bizottságához benyújtott disszertációm majdani értékelését végző tudósok szakterületeiről nem volt információ. Következésképpen úgy véltem, hogy hasznos lehet egy, a faanyag specifikus tulajdonságait ismertető, általános összefoglaló. Így az *Általános Bevezetés* c. fejezetet utólag fogalmaztam meg. Öszintén remélem, hogy nem okozva ezzel felesleges munkát bírálóimnak. Ebből eredeztethető a fejezetek számozásában meglévő bizonytalanság, amiért tisztelettel elnézést kérek.

Az első érdemi (II.) fejezet értékelése során Winkler professzor hiányolja a folytatást. A kérdéses fejezetben ismertetett kutatás folytatására több okból nem volt lehetőség. Itt az anyagi forráshiányt, személyi változásokat és párhuzamos kutatási tevékenységet, mint kizárási tényezőket kell megemlítenem. A munkatervben vállalt feladatok teljesítése után az anyagi támogatás megszűnt, a témavezető más egyetemen kapott új beosztást, mi

hazaköltöztünk és később a Virginia Polytechnic Institute and State University nyert támogatást a préselési transzport folyamatok vizsgálatára. Ezt a feladatot Zombori Balázs doktorandusz végezte el kiváló eredménnyel (Zombori, 2001). E kutatási munkában, mint doktori bizottsági tag és külső konzulens volt szerencsém részt venni. Természetesen az adott lehetőségek korlátai között mi is végeztünk előzetes vizsgálatok a préselési hőmérséklet és nedvességtartalom konszolidációs hatásainak elemzésére, ahogy ezt a mellékletben közölt ábra is jelzi (II. Függelék, A.II.3 ábra, 145. oldal).

Egyet kell értenem bírálóm azon megállapításával, hogy az ortotróp mechanikai tulajdonságok elemzése már kialakított modellekkel nem számít új tudományos eredménynek. Ugyanakkor ez a fejezet tartalmazza azon elméleti háttérrel és kísérleti eredményekkel, amelyek alapján eljutottunk a nyírási kombinációs modell és a kritikus nyírófeszültség kontúr meghatározásához. Hasonlóképpen, a furnérok ortotróp tulajdonságainak elemzése a termékfejlesztés és innováció során volt nélkülözhetetlen.

A negyedik fejezetben közölt szimulációs modellekkel kapcsolatban Winkler professzor ugyancsak a kutatási téma kiterjesztését hiányolja. Ezzel kapcsolatban szeretném megjegyezni, hogy a korábban említett anyagi és személyi korlátok e kutatásnál is szerepet játszottak. Ugyanakkor figyelembe kell venni, hogy a teherviselő kompozitok (LVL és PSL) fizikai tulajdonságai (dagadás, zsugorodás és alaktartás) sem a felhasználás, sem pedig a gyártás során nem jelentenek különösebb problémát. Kivétel talán a furnérszalag tartó (PSL), ahol a nagyfrekvenciás préskezelésből kikerülő szelvény ún. *hordósodása* tapasztalható. Ez a jelenség a belső göznyomás következtében a furnérszalagok elasztikus/plasztikus relaxációjából adódik. A problémát a Truss Joist – McMillan-Weyerhaeuser Co. üzemében vizsgáltuk, és a formázó csatorna némi módosításával sikerült a méretstabilitást csekély mértékben javítani.

A tézisekkel kapcsolatos észrevételekkel és kritikákkal teljes mértékben egyetértek. Mindhárom bírálóm kifogásolta a tézisek túlzott mennyiségét, amelyek között számos nem tekinthető új tudományos eredménynek. Szerencsésebb lett volna azok számát jelentősen csökkenteni a valóban új eredmények számító modellekre koncentrálni. A további megállapításokat csak az így kialakított tézisek argumentumaiként illett volna felhasználnom. Sajnálom, hogy a mennyiség a minőség rovására ment. Valóban, a kevesebb néha több!

Bírálóm jogosan észrevételezte az angol és magyar nyelvű tézisek inkonzisztenciáját. A hiányzó tézispont az alábbi:

3. It has been proved that the central limit theorem (CLT) can be used successfully to generate discrete random deviates. [II.10, II.12]

Természetesen a sorszámozás így megváltozik. A7. tétel nyolcadik lesz és a 8. pedig a csak a hasznosításra utaló, számozatlan információ. A tézisekkel kapcsolatos többi megállapításokat természetesen elfogadom. A továbbiakban a disszertációval kapcsolatos feltett kérdésekre adom meg a válaszokat.

Melyek lehetnek azok a hazai fafajok, amelyeket eddig a kompozit- és faházgyártásban nem alkalmaztuk?

Előjáróban szeretném megemlíteni, hogy az egyre szűkülő természetes nyersanyagforrások következtében világszerte tendencia az alulhasznált és/vagy kedvezőtlen tulajdonságú fafajok alkalmazása mindkét említett ipari gyártástechnológia területén. Jelentős kutatási és innovációs tevékenység tapasztalható a mezőgazdasági eredetű cellulóz rostok hasznosítása terén is. Magyarországon és külföldön egyaránt majd minden fafaj tekintetében történtek már próbálkozások a faipari nyersanyagbázis kiszélesítésére. A magyar erdőgazdasági viszonyok között úgy vélem, hogy a rövid véghasználati korú fafajok (ártéri, ültetvényes és klónozott nyár) jelentenek potenciális alapanyagbázist. Természetesen a műszaki paraméterek javítása (pl. tömörítés, nano-technológiai eljárások, stb.) elengedhetetlen feltételei a hatékony és gazdaságos alkalmazásnak. Mintegy tizenöt évvel ezelőtt, nyár és éger fafajokból kialakított laminált furnértartók összehasonlító és kísérleti elemzése a COPERNICUS kutatási munka keretében megtörtént, azonban a kedvezőtlen műszaki tulajdonságok (viszonylag alacsony hajlítószilárdság és E érték) miatt a termékfejlesztés ipari partnert hiányában elmaradt. E témához kapcsolódhat disszertációm V. fejezete, amely a furnérhulladék lehetséges hasznosítását ismerteti. Úgy vélem, hogy furnérrá alakítva az akác szilárdsága és természetes ellenállása folytán megfelelő alapanyag lenne új, faalapú kompozitok előállítására. A nagy szelvénymeretű, tömör, teherviselő faszerkezetek ma már szinte megfizethetetlenek. Azok helyettesítése faalapú összetett anyagokkal így szükségszerűen előtérbe kerül.

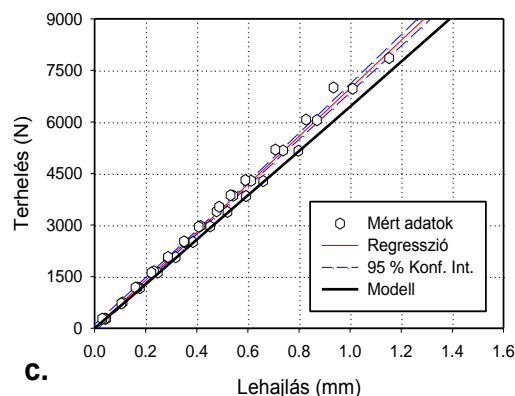
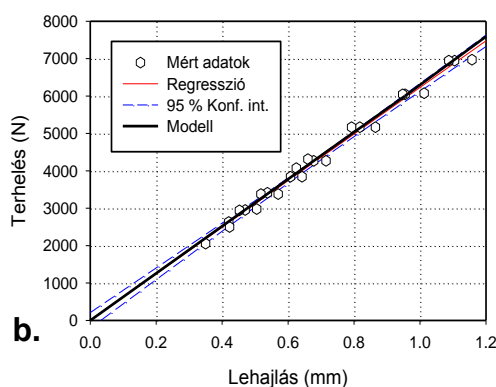
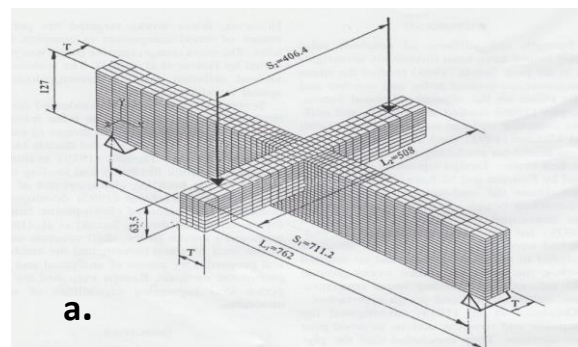
Az anyagtudományok fejlődése során számos tönkremeneteli elmélet született. Miben látja az egyes elméletek alkalmazhatóságát és korlátjait a furnér vagy hosszúforgács alapú teherviselő szerkezeti elemek vonatkozásában?

A fatest, mint természetes eredetű, összetett anyag leginkább polimer – szén/üvegszálak kompozitként jellemezhető. Ugyanakkor nem mindegy, hogy milyen (molekuláris, mikro-vagy makroszkopikus) szinten vizsgáljuk. A rétegelt ragasztott tartók lamella elválásának előrejelzése más jellegű megközelítést igényel, mint például egy közepes sűrűségű farostlemez lapleemelő szilárdságának meghatározása. A tömör faanyag tönkremenetelének előrejelzése a van Mises-Hill és a Tsai-Wu-féle kritériumok (másodfokú polinomok) alapján viszonylag jól megoldható, különösen síkbeli feszültségi állapot esetén. Az Ashkenazi kritérium már egy negyedfokú polinom alapján jobban közelíti az irányfüggő, valós szilárdsági értékeket (Nahas 1986, Szalai 1994). Mindezen eljárásoknak nagy hátránya, hogy az egyenletek együtthatóit többnyire ferde rostlefutású próbatestek mérési eredményeiből kell meghatározni. A furnér vagy hosszúforgács alapú kompozitok esetében alkalmazható kritériumok a lehetséges ragasztási határfelületek tönkremenetelével komplikálódhatnak. Számos kutató, beleértve magamat is, gyakran azzal az alapfeltételezéssel él, hogy a kötőanyag volumene és annak a mechanika tulajdonságokra kivetülő hatása elhanyagolható. Ezen egyszerűsítés azonban csak a nagyobb méretű alkotó elemekből kialakított fa kompozitok (laminált furnértartó, rétegelt lemez, rétegelt ragasztott tartó) vonatkozásában helytálló.

A huszadik század egyik jelentős műszaki eredménye a véges elem analízis kidolgozása volt. Milyen lehetőséget lát a módszer alkalmazására faalapú kompozitokkal való tervezés méretezés során?

Meg kell jegyezni, hogy nincs nagy tapasztalatom a véges elem analízis alkalmazásában. Ez a módszer a nemrégiben kialakított mérnöki eljárások valójában egyik leghasznosabb és igen fontos vívmánya. A repülőgépgyártás során alkalmazták először, majd gyorsan elterjedt az alkalmazott mechanika majd minden területén.

Véleményem szerint a véges elem analízis kiválóan alkalmas homogén, jól definiált mechanika tulajdonságokkal rendelkező anyagok és szerkezetek vizsgálatára. Meglehetősen pontosan alkalmazható egyenes szálú és konzisztens szövetszerkezetű faanyagok, fakötések, szerkezetek, analízisére. Pántok, vasalatok és fa–fém kapcsolatok elemzésére gyakorta alkalmazzák. A módszer hátránya, hogy a faanyag egy elemen belül is változó vagy változható mechanika tulajdonságait nehezen, vagy egyáltalán nem tudja kezelni. Különösen igaz ez a kisméretű (forgács, hosszúforgács) elemekből előállított fa kompozitok esetében. Ezen állításomat egy keresztlapolt, szerkezeti fakötés véges elemes vizsgálata során nyert eredményekkel demonstrálnám. Az **a** jelű ábrán a szerkezeti kötés kialakítása, a terhelési mód és a véges elem felbontás figyelhető meg. A további ábrák a kétféle anyagú, tulipánfa rétegelt furnértartó, LVL (**b.**), valamint rezgőnyár hosszúforgács tartó LSL (**c.**) kísérletileg meghatározott terhelés – deformáció diagramjait ábrázolják.



Az eredmények szerint a véges elem modell előrejelzése a tulipánfa rétegelt furnértartó esetében jól illeszkedik a kísérletileg meghatározott adatpontokhoz. Ugyanakkor a

rezgőnyár hosszúforgács tartó lehajlását a modell már számottevően túlbecsülte. Ez a jelenség nagy valószínűséggel a nyárfa forgácsok tömörödéséből eredő rugalmassági állandó növekedésének eredménye. A furnérszalag tartók (PSL) esetében a technológiailag szükséges diszkontinuitás, ellenkező irányú hibát eredményezhet.

Kompozitok hajlítoszilárdság mérései alatt számos próbatest a nyírási tönkremenetel jeleit indikálja. Megoldható-e, a nyomóterhelésnek kitett próbatestek nyírási tönkremenetelét leíró kritikus nyírófeszültség kontúr mintájára a hajlító-nyíró feszültségek hasonló jellegű előrejelzése?

E kérdésben kicsit bizonytalan az állásfoglalásom. A hajlító igénybevételeknek kitett faalapú kompozit szerkezeteknél a feszültségek és az alkotó elemek anatómiai iránya közötti összefüggés számos tényezőtől függ. A kompozit típusa, az igénybevétel iránya (lapra vagy élre merőleges terhelés) a ragasztás és alkotóelemek minősége mind szignifikánsan befolyásolja a feszültséggyűjtő helyek kialakulását. Tapasztalataim alapján úgy vélem, hogy a nyírási tönkremenetel a ragasztási határfelületek mentén észlelhető és csaknem kizárólag annak síkjára merőleges terhelés esetén. A természetes faanyag önmagában is összetett, így kompozitnak tekinthető. Ehhez kapcsolódóan csak azt kívánom megemlíteni, hogy koncentrált erővel terhelt I szelvényű faanyagokkal valamint több alátámasztású, hajlító igénybevételnek kitett próbatestekkel már a hatvanas évek elején is kísérleteztek a nyírószilárdság meghatározására (Ylinen 1963). A vizsgálati módszer nem terjedt el, főleg azért mert a próbatestek közel 50 %-a nem a nyírási tönkremenetel jeleit mutatta.

Végezetül ismételten szeretném megköszönni Dr. Winkler András professor úr átgondolt bírálatát. Egyben remélem, hogy a felvetett kérdésekre és észrevételekre adott válaszaim részleteikben és minőségükben is kielégítőek.

Tisztelettel,

Láng Elemér Márton

Sopron, 2013, Február 14.

HIVATKOZÁSOK

Nahas, M. N. 1986. Survey of Failure and Post-Failure Theories of Laminated Fiber- Reinforced Composites. J. of Composite Technology and Research. Vol. 8. 4:138-153.

Szalai, J. 1994. Anisotropic Strength and Elasticity of Wood and Wood-Based Composites. (in Hungarian) Private ed. Sopron, Hungary. 398 pp.

Zombori, B. 2001. Modeling the Transient Effects during the Hot-Pressing of Wood-Based Composites. PhD Dissertation. Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, VA, pp. 212.

Ylinen, A. 1963. A Comparative Study of Different Types of Shear Tests of Wood. Paper presented on the Fifth Conference of Wood Technology. U.S. Forest Products Laboratory, Madison, Wisconsin, September, 16-27, 67 pp.